

УДК 631.82.02:633

Елементний склад надземної маси листків і стебел біоенергетичних рослин залежно від фази росту

І. І. Бойко¹ , В. О. Грищенко¹ , О. П. Манзій² , І. В. Коховська³ 

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

²Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, 20300, Україна

³Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Визначити вміст хімічних елементів у різних частинах вегетативної маси біоенергетичних рослин залежно від фази росту. **Методи.** Дослідження було закладено на Ялтушківській ДСС. Попередником для вирощування біоенергетичних культур була пшениця озима. Використовували лабораторний (хімічний) метод досліджень і статистичний. **Результати.** Встановлено, що в червні вміст азоту в листках змінювався від 0,20 до 0,22 %, а в стеблах – від 0,18 до 0,24 % залежно від біоенергетичної культури. Вміст азоту до серпня зростав на 9–50 % у листках міскантусу та верби і на 4–22 % у стеблах свічграсу та верби. Упродовж вегетаційного періоду вміст фосфору в листках знижувався на 2–12 %. Динаміка накопичення фосфору в стеблах біоенергетичних культур була іншою. У стеблах міскантусу його вміст не змінювався, а в інших біоенергетичних культурах зростав. Вміст калію в листках свічграсу та верби упродовж вегетаційного періоду зростав на 5–13 %, а в міскантусу знижувався на 3 %. У стеблах його вміст у міскантусу та свічграсу зростав, а в енергетичної верби знижувався. Слід відзначити, що вміст калію в листках був у 8,1–9,8 рази вищим порівняно з азотом і в 5,3–8,5 рази в стеблах. З досліджених мікроелементів вміст мангану був найвищим. Так, у листках міскантусу його вміст становив 1,9 мг/кг або в 2,1 рази, верби – 1,24 мг/кг, або на 12 %, а свічграсу – 1,13 мг/кг, або на 2 % вище порівняно з стеблом. Подібно змінювався вміст заліза. Вміст цинку в листках і стеблах верби та свічграсу майже не змінювався, проте в листках міскантусу був у 2,0 рази вищим порівняно з стеблом. Вміст міді та кадмію був майже однаковим у листках і стеблах і становив відповідно 0,01–0,04 і 0,001 мг/кг сухої маси. Вміст свинцю в стеблах міскантусу та верби був вищим, а в свічграсу – однаковим (0,01 мг/кг). Вміст хлору в листках біоенергетичних культур був у 1,3–2,5 рази нижчим порівняно з стеблами. Вміст сірки у листках міскантусу був у 1,4 рази нижчим порівняно з стеблами, а в інших культур майже однаковим. **Висновки.** Встановлено, що в листках свічграсу вміст азоту та в міскантусу вміст калію і вміст фосфору всіх культур знижується впродовж вегетаційного періоду. У листках вміст азоту в міскантусі, верби і вміст калію в свічграсу та верби зростає. Вміст мікроелементів у вегетативній масі найвищий формується в міскантусі та вербі. Вміст міді та кадмію у листках і стеблах майже не змінюється.

Ключові слова: листя; стебло; суха речовина; вміст мікроелементів.

Вступ

Ґрунтово-кліматичні умови України придатні для вирощування багаторічних енергетичних рослин. Це дозволяє культивувати енергетичні рослини на малопродуктивних землях [1–8]. До таких рослин належить міскантус (*Miscanthus*), багаторічна злакова культура, просо прутіподібне, або світчграс (*Panicum virgatum*). Серед дерев, біомаса яких може використовуватись на тверде біопаливо, найкраще підходять сорти швидкоростучої верби виду прутівидна (*Salix viminalis*) [9].

У вегетативній масі рослин, крім вуглецю, водню і кисню міститься близько 60 інших хімічних елементів. Основне значення для росту та розвитку рослин мають три елементи, засвоєння яких

відбувається у процесі фотосинтезу – водень, кисень і вуглець [10]. Представленість мінеральних речовин в різних частинах рослин набагато скромніша – їх вміст не дуже великий і досягає близько 5 % від загальної маси рослини, але в перерахунку на гектар це не так і мало – 200–400 кг [11].

Загалом встановлено, що мінеральні елементи є обов'язковим компонентом в усіх рослин і потрібні для його нормального росту та розвитку. Однак із 60 мінеральних елементів, наявних у складі тканин рослин, тільки частина є дійсно необхідною для забезпечення їхньої життєдіяльності. Інші ж мінеральні речовини надходять до рослин чисто випадково, пасивно й фактично не потрібні для їхнього росту та розвитку. Такі мінеральні елементи називають абіогенними [12].

Мета досліджень – визначити вміст хімічних елементів у різних частинах вегетативної маси біоенергетичних рослин залежно від фази росту.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили упродовж 2016–2020 рр. зі свічграсом, енергетичною вербою і міскантусом на Ялтушківській дослідно-селекційній Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Дослідна станція розташована в Західному Лісостепу України. Грунт – сірий опідзолений. Вміст гумус становить 1,87 %, сполук азоту, що легко гідролізуються – 81 мг/кг ґрунту, рухомих сполук фосфору та калію відповідно 139 і 118 мг/кг ґрунту.

Попередником для вирощування біоенергетичних культур була пшениця озима. Досліди закладалися відповідно до методик вирощування енергетичних культур [13–16]. Відбір зразків проводили у червні (міскантус, свічграс – вихід у трубку, верба – інтенсивний ріст пагонів), липні (міскантус, свічграс – колосіння, верба – інтенсивний ріст пагонів) та серпні (міскантус, свічграс – формування насіння, верба – кінець інтенсивного росту). У відібраних зразках вміст загальних форм азоту, фосфору, калію визначали методом мокрого озолення за МВВ 31-497058-019-2005. Вміст мікроелементів визначали у зразках, які відбирали у липні методом атомно-абсорбційної спектроскопії.

Для статистичної обробки результатів досліджень і визначення достовірності одержаних експериментальних даних використовували дисперсійний аналіз.

Результати досліджень

У червні його вміст у листках змінювався від 0,20 до 0,22 %, а в стеблах – від 0,18 до 0,24 % залежно від біоенергетичної культури (табл. 1). Вміст азоту до серпня зростав на 9–50 % у листках міскантусу та верби і на 4–22 % у стеблах свічграсу та верби. Слід відзначити, що в листках свічграсу вміст азоту майже не змінювався упродовж вегетаційного періоду, а стеблах верби зростав у 1,9 раза порівняно з початком відбору зразків.

Таблиця 1

Вміст азоту, фосфору та калію у листках і стеблах біоенергетичних рослин (середнє за 2016–2020 рр.), % на суху масу

Культура	Листки			Стебло		
	червень	липень	серпень	червень	липень	серпень
Азот						
Свічграс	0,21	0,22	0,20	0,18	0,21	0,22
Міскантус	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25
Верба	0,20	0,25	0,30	0,18	0,22	0,35
НІР _{0,05}	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Фосфор						
Міскантус	0,60	0,62	0,55	0,61	0,61	0,61
Верба	0,68	0,65	0,60	0,53	0,53	0,63
Свічграс	0,64	0,65	0,63	0,55	0,53	0,64
НІР _{0,05}	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Калій						
Міскантус	2,01	1,99	1,95	1,80	1,85	1,88
Свічграс	2,05	2,00	2,15	1,85	1,80	1,88
Верба	2,15	2,30	2,42	1,90	1,91	1,87
НІР _{0,05}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Найбільше фосфору було в листках енергетичної верби (0,60–0,68 %), найменше – в листках міскантусу (0,55–0,60 %). Упродовж вегетаційного періоду вміст фосфору в листках знижувався на 2–12 %. Динаміка накопичення фосфору в стеблах біоенергетичних культур була іншою. У стеблах міскантусу його вміст не змінювався, а в інших біоенергетичних культурах зростав. Найбільша кількість відмічено в стеблах енергетичної верби і свічграсу – 0,63–0,64 %, а найменшу в стеблах міскантусу – 0,61 % у серпні.

Калію в рослинах, зазвичай, накопичується більше, ніж азоту і фосфору. Вміст калію в листках свічграсу та верби упродовж вегетаційного періоду зростав на 5–13 %, а в міскантусу знижувався на 3 %. У стеблах його вміст у міскантусу та свічграсу зростав, а в енергетичної верби знижувався. Слід відзначити, що вміст калію в листках був у 8,1–9,8 раза вищим порівняно з азотом і в 5,3–8,5 раза в стеблах.

Вміст мікроелементів істотно змінювався залежно від культури і частини вегетативної маси (табл. 2). З досліджених мікроелементів вміст мангану був найвищим. Так, у листках міскантусу його вміст становив 1,9 мг/кг або в 2,1 раза, верби – 1,24 мг/кг, або на 12 %, а свічграсу – 1,13 мг/кг, або на 2 % вище порівняно з стеблом. Подібно змінювався вміст заліза. Вміст цинку в листках і стеблах верби та свічграсу майже не змінювався, проте в листках міскантусу був у 2,0 раза вищим порівняно з стеблом. Вміст міді та кадмію був майже однаковим у листках і стеблах і становив відповідно 0,01–0,04 і 0,001 мг/кг сухої маси. Вміст свинцю в стеблах міскантусу та верби був вищим, а в свічграсу – однаковим (0,01 мг/кг).

Таблиця 2

**Вміст мікроелементів у листках і стеблах біоенергетичних культур
(середнє за 2016–2020 рр.), мг/кг сухої маси**

Культура	Вегетативна частина	Хімічний елемент					
		Mn	Zn	Fe	Cu	Pb	Cd
Міскантус	Листя	1,90	0,22	1,18	0,01	0,10	0,001
	Стебло	0,90	0,11	0,13	0,01	0,40	0,001
Верба	Листя	1,24	0,21	1,24	0,02	0,09	0,001
	Стебло	1,11	0,21	1,15	0,04	0,12	0,001
Свічграс	Листя	1,13	0,10	1,02	0,01	0,01	0,001
	Стебло	1,11	0,09	1,00	0,01	0,01	0,001
НІР _{0,05}	Листя	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,001
	Стебло	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001

Досліджувані зразки культур у своєму складі містять невелику кількість хлору та сірки. Найбільший вміст хлору – 0,050% знаходиться в стеблах міскантуса, а найменший – 0,015% у листках свічграсу (табл. 3). Вміст сірки був практично на одному рівні і знаходився в межах від 0,10 до 0,16%. Вміст сірки у листках міскантусу був у 1,4 раза нижчим порівняно з стеблами, а в інших культур майже однаковим.

Таблиця 3

**Вміст хлору та сірки у листках і стеблах біоенергетичних культур
(середнє за 2016–2020 рр.), % на суху масу**

Культура	Вегетативна частина	Хлор	Сірка
Міскантус	Листки	0,020	0,10
	Стебло	0,050	0,14
Верба	Листки	0,020	0,15
	Стебло	0,025	0,14
Свічграс	Листки	0,015	0,16
	Стебло	0,020	0,16
НІР _{0,05}	Листя	0,001	0,01
	Стебло	0,002	0,01

Висновки

Встановлено, що в листках свічграсу вміст азоту та в міскантусу вміст калію і вміст фосфору всіх культур знижується впродовж вегетаційного періоду. У листках вміст азоту в міскантусі,

верби і вміст калію в свічграсу та вербі зростає. Вміст мікроелементів у вегетативній масі найвищий формується в міскантусі та вербі. Вміст міді та кадмію у листках і стеблах майже не змінюється.

Використана література

1. Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М. Міскантус – перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. *Агробіологія*. 2010. Вип. 4. С. 62–66.
2. Роїк М. В., Курило В. Л., Ганженко О. М. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Цукрові буряки*. 2012. № 2. С. 6–8.
3. Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я. та ін. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур. *Вісник ЛНАУ. Сер. : Агронія*. 2011. № 15(2). С. 2–3.
4. Нагорный В. Д., Рагхав Джагендра Сингх. Перспективы производства биотоплива в Индии (социально-экономические и агрономические аспекты). *Вестник РУДН. Сер. : Агронія и животноводство*. 2011. Вып. 2. С. 16–22.
5. Роїк М. В., Сінченко В. М., Бондар С. В. та ін. Концепція розвитку біоенергетики в Україні до 2035 року. *Біоенергетика*. 2019. № 2. С. 4–9. doi: 10.47414/be.2.2019.229304
6. Хіврич О. Б., Квак В. М., Каськів В. В., Мамайсур В. В. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива. *Агробіологія*. 2011. Вип. 6. С. 153–156.
7. Мандровская С. Н. Интродукция проса прутьевидного (*Panicum virgatum* L.) на Украине. *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2015. № 2. С. 63–68.
8. Таргоня В. До питання визначення реального потенціалу сільськогосподарської біомаси, придатної для використання на енергетичні потреби. *Техніка і технології АПК*. 2012. № 1. С. 28–29.
9. Роїк М. В., Сінченко В. М., Іващенко О. О. та ін. Міскантус в Україні. Київ : ФООП Ямчинський О. В., 2019. 256 с.
10. Вирощування біоенергетичних культур / за ред. М. Я. Гументика. Київ : Компринт, 2018. 178 с.
11. Гументик М. Я., Квак В. М. Оптимізація елементів технології вирощування міскантусу в умовах західного Лісостепу. *Зб. наук. праць ВНАУ. Сер. : С.-г. науки*. Вінниця, 2012. Вип. 1. С. 168–173.
12. Гументик М. Я., Гончарук Г. С., Гументик В. М. Продуктивність біомаси міскантусу залежно від густоти садіння ризомів в умовах Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 16, Т. 1. С. 64–70. doi: 10.32851/2226-0099.2020.116.1.4
13. Роїк М. В., Сінченко В. М., Пиркін В. І. та ін. Організаційно-економічні нормативи витрат та інформаційно-статистичні матеріали з виробництва рослинницької продукції за біоадаптивними технологіями. Київ : Нілан-ЛТД, 2014. 194 с.
14. Курило В. Л., Гументик М. Я., Гончарук Г. С. та ін. Методичні рекомендації з проведення основного та передпосівного обробітків ґрунту і сівби проса лозовидного. Київ : БКІЦБ, 2012. 28 с.
15. Курило В., Ганженко О., Гументик М., Квак В. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення міскантусу гігантського. Київ : Нітлан-ЛТД, 2015. 56 с.
16. Роїк М. В., Рахметов Д. Б., Гонтаренко С. М. та ін. Методика проведення експертизи сортів проса прутіноподібного (*Panicum virgatum* L.) на відмінність, однорідність і стабільність. *Методика проведення експертизи сортів рослин на відмінність, однорідність та стабільність (ВОС-тест). Кормові та коренеплідні / за ред. С. О. Ткачик*. Київ : Нілан-ЛТД, 2014. С. 637–651.

References

1. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., & Kvak, V. M. (2010). Miscanthus is a promising energy crop for biofuel production. *Agrobiology*, 4, 62–66. [in Ukrainian]
2. Roik, M. V., Kurylo, V. L., & Hanzhenko, O. M. (2012). Prospects for the development of bioenergy in Ukraine. *Sugar Beet*, 2, 6–8. [in Ukrainian]
3. Roik, M. V., Kurylo, V. L., & Humentyk, M. Ya. (2011). Efficiency of growing highly productive energy crops. *Journal of Lviv National Agrarian University. Agronomy*, 15(2), 2–3. [in Ukrainian]
4. Nagorny, V. D., & Singh Raghav, J. (2011). Feasibility of biofuel production in India (socio-economic and agronomic aspects). *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2, 16–22. [in Russian]
5. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Bondar, S. V., Fursa, A. V., & Humentyk, V. M. (2019). Concept for development of Ukraine's bioenergy until 2035. *Bioenergy*, 2, 4–9. doi: 10.47414/be.2.2019.229304 [in Ukrainian]
6. Khivrych, O. B., Kvak, V. M., Kaskiv, V. V., & Mamaisur, V. V. (2011). Energy plants as an alternative to traditional fuels. *Agrobiology*, 6, 153–156. [in Ukrainian]
7. Mandrovskaya, S. N. (2015). Introduction of bar millet (*Panicum virgatum* L.) in Ukraine. *Innovations in Agro-Industrial Complex: Problems and Prospects*, 2, 63–68. [in Russian]
8. Tarhonia, V. (2012). To determine the real potential of agricultural biomass suitable for energy use. *Machinery and Technology of Agro-Industrial Complex*, 1, 28–29. [in Ukrainian]

9. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., ... Katelevskiy, V. M. (2019). *Miscanthus in Ukraine*. Kyiv: Komprint. [in Ukrainian]
10. Humentyk, M. Ya. (Ed.). (2018). *Growing bioenergy crops*. Kyiv: Komprint. [in Ukrainian]
11. Humentyk, M. Ya., & Kvak, V. M. (2012). Optimization of elements of technology of cultivation of miscanthus in the conditions of the western Forest-Steppe. *Proceedings of VNAU. Series of Agricultural Science, 1*, 168–173. [in Ukrainian]
12. Gumentyk, M. Ya., Honcharuk, G. S., & Gumentyk, V. M. (2020). Productivity of miscanthus biomass depending on planting density and rhizome mass in the Forest-Steppe of Ukraine. *Tavria Scientific Bulletin, 16*(1), 64–70. doi: 10.32851/2226-0099.2020.116.1.4
13. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., & Pyrkin, V. I. (2014). *Organizational and economic standards of costs and information and statistical materials for the production of plant products by bioadaptive technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
14. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Honcharuk, H. S., Smirnykh, V. M., Horobets, A. M., Kaskiv, V. V., Maksymenko, O. V., & Mandrovska, S. M. (2012). *Methodical recommendations for the main and pre-sowing tillage and sowing of vine millet*. Kyiv: IBKiTsB. [in Ukrainian]
15. Kurylo, V., Hanzhenko, O., Humentyk, M., & Kvak, V. (2015). *Methodical recommendations on the technology of growing and processing giant miscanthus*. Kyiv: Nitlan-LTD. [in Ukrainian]
16. Roik, M. V., Rakhmetov, D. B., Hontarenko, S. M., Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Blium, Ya. B., ... Andriushchenko, A. V. (2014). Methods of examination of varieties of millet (*Panicum virgatum* L.) for difference, homogeneity and stability. In S. O. Tkachyk (Ed.), *Methods of examination of plant varieties for difference, homogeneity and stability. Fodder and root crops* (pp. 637–651). Kyiv: Nilan-LTD. [in Ukrainian]

UDC631.82.02:633

Boiko, I. I.¹, Hryshchenko, V. O.¹, Manzii, O. P.², & Kokhovska, I. V.³ (2021). Elemental composition of the aboveground biomass of energy plants as affected by growth stages. *Advanced Agritechnologies, 9*. <https://doi.org/10.47414/na.9.2021.256449>. [in Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine*

²*Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, 2 Sadova St., Uman, 20300, Ukraine*

³*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine*

Purpose. Determine the content of chemical elements in different parts of the vegetative mass of bioenergy crops. **Methods.** Experiments on the technology of growing switchgrass, energy willow and miscanthus were laid at the Yaltushkiv EBS. Winter wheat was a pre-crop for energy crops. The experiments were based on generally accepted methods of growing these crops. During the growing season accounting and observation were conducted and determination of the biochemical composition of the aboveground mass of energy plants. was performed. **Results.** It was found that the nitrogen content changed the most in June. Thus, in June, its content in the leaves varied from 0.20 to 0.22%, and in the stems from 0.18 to 0.24%, depending on the energy crop. By August, the nitrogen content increased by 9–50% in miscanthus and willow leaves and by 4–22% in switchgrass and willow stems. During the growing season, the phosphorus content in the leaves decreased by 2–12%. The dynamics of phosphorus accumulation in the stems of energy crops was different. In the stems of miscanthus, its content did not change, while in other energy crops increased. The potassium content in switchgrass and willow leaves increased by 5–13% during the growing season, while in miscanthus it decreased by 3%. In stems, its content in miscanthus and switchgrass increased, and in energy willow decreased. It should be noted that the potassium content in the leaves was 8.1–9.8 times higher compared to nitrogen and 5.3–8.5 times higher in the stems. Of the studied trace elements, the manganese content was the highest. Thus, in the leaves of miscanthus its content was 1.9 mg/kg or 2.1 times, willow 1.24 mg/kg, or 12%, and switchgrass 1.13 mg/kg, or 2% higher compared to the stem. The iron content changed similarly. The content of zinc in the leaves and stems of willow and switchgrass almost did not change, but in the leaves of miscanthus was 2.0 times higher than the stem. The content of copper and cadmium was almost the same in the leaves and stems and was 0.01–0.04 and 0.001 mg/kg of dry weight, respectively. The lead content in miscanthus and willow stems was higher, and in switchgrass the same (0.01 mg/kg). The chlorine content in the leaves of bioenergy crops was 1.3–2.5 times lower compared to the stems. The sulfur content in miscanthus leaves was 1.4 times lower than in stems, and in other crops almost the same. **Conclusions.** It was found that in the leaves of switchgrass nitrogen content and in miscanthus potassium content and phosphorus content of all crops decreases during the growing season. In the leaves, the nitrogen content in miscanthus, willow and potassium content in switchgrass and willow increases. The content of trace elements in the vegetative mass is the highest in miscanthus and willow. The content of copper and cadmium in the leaves and stems is almost unchanged.

Keywords: leaves; stem; dry matter; trace element content.

Надійшла / Received 15.11.2021
Погоджено до друку / Accepted 13.12.2021